

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Racionalizace broušení

Rationalisation of Grinding

Student:

Bc. Lucie Kudláčková

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2017

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lucie Kudláčková**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Racionalizace broušení**
Rationalisation of Grinding
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika broušení.
3. Návrh nové technologie.
4. Diskuse experimentů.
5. Technicko - ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

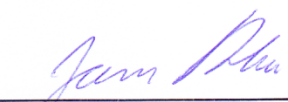
- [1] MASLOV, J. N. Teorie broušení kovů. Praha : SNTL, 1979. 248 s.
- [2] BUDA, J.; BÉKĚS, J. Teoretické základy obrábění kovů. 2. vyd. Bratislava : ALFA, 1967.
- [3] BUDA, J.; SOUČEK, J.; VASILKO, K. Teória obrábění. Bratislava : ALFA, 1988.
- [4] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J. *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**


Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry






doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 12.5.2017



.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 12. 5. 2017



.....

Podpis studenta

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bc. Lucie Kudláčková

Březná 11

789 91, Štíty

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Kudláčková, L. *Racionalizace broušení: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie 2017, 55 s., Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

V diplomové práci je vypracováno zefektivnění výroby vybraného dílce ve firmě HM tools industrial s.r.o. V první části práce je popsána obecná problematika broušení a popis firmy. V další části práce je vypracován rozbor použité výrobní technologie doplněna technologickým postupem a následně je navržen nový technologický postup. V závěru práce je provedeno porovnání a celkové zhodnocení.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Kudláčková, L. *Rationalisation of Grinding: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of cutting, Assembly, 2017, 55 s., Thesis head: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

The master thesis developed efficient production of selected elements in the company HM tools Industrial s.r.o. The first part describes the general problems of grinding and company description. In the next part of the thesis, the analysis of the used production technology is completed with the technological process and a new technological procedure is then proposed. At the end of the thesis, comparison and overall evaluation are made.

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka	Jednotka	Popis
CNC	-	Computer Numeric Control
HB	-	Tvrdost dle Brinella
HRC	-	Tvrdost dle Rockwella
ISO	-	International Organization for Standardization
Ra	[μm]	Střední aritmetická hodnota

Obsah

Úvod.....	9
1 Obecná charakteristika daného problému	10
2 Problematika broušení.....	12
2.1 Podstata broušení a brousícího nástroje.....	12
2.1.1 Zvláštnosti procesu broušení	12
2.1.2 Základní prvky tvoření třísky při broušení	16
2.1.3 Brousící nástroj.....	17
2.1.4 Opotřebení a trvanlivost brousících kotoučů.....	18
2.1.5 Vyvažování brousících kotoučů	19
2.1.6 Tepelné jevy při broušení	20
2.1.7 Vznik jisker při broušení	21
2.1.8 Řezné prostředky při broušení.....	22
2.2 Brousící stroje	25
2.2.1 Vnitřní brousící stroje.....	26
2.2.2 Univerzální brousící stroje	28
3 Návrh nové technologie	32
3.1 Popis vybraného dílce	32
3.1.1 Matrice.....	32
3.1.2 Polotovar.....	32
3.1.3 Objímka	34
3.2 Postup výroby - původní technologie	36
3.3 Postup výroby - nová technologie	42
4 Diskuse experimentů.....	45
Stanovení výrobních časů.....	45
5 Technicko-ekonomické zhodnocení.....	47

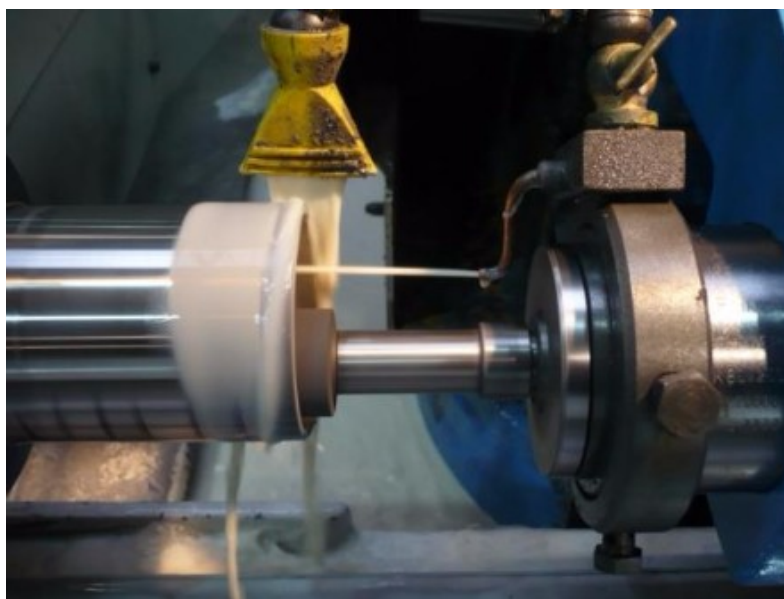
5.1	Celkové porovnání strojních časů.....	47
	Původní technologie.....	47
	Nová technologie.....	47
5.2	Výsledky efektivnosti výroby.....	48
	Původní technologie.....	48
	Nová technologie.....	49
	Závěr.....	50
	Použitá literatura	52
	Seznam obrázků a tabulek.....	53
	Seznam příloh.....	55

Úvod

Racionalizace výroby je část souhrnu opatření, mířící k účelnějšímu, hospodárnějšímu způsobu práce a výroby. Sumární racionalizace se týká nejen vlastní výroby, ale i oblasti řízení a správy. Dále sem také můžeme zařadit především aktivitu a iniciativu pracujících při zlepšování všech faktorů nárůstu výkonnosti a současně likvidování namáhavé nebo zdraví škodlivé práce i zlepšování pracovních podmínek.

1 Obecná charakteristika daného problému

Broušení je velmi starý způsob obrábění materiálů. Již v dávné minulosti používal člověk přírodní brusiva k tomu, aby naostřil své pracovní nástroje (sekery, nože, kopí apod.). Vývoj broušení se značně urychlil vynálezem umělého brousícího kotouče (r. 1859) a sestavením prvních univerzálních brousících strojů (r. 1860). Neustálé zdokonalování brousících strojů a zlepšování vlastností brousících kotoučů umožnilo, že se broušení stalo jedním z velmi produktivních způsobů přesného obrábění různých materiálů.



Obrázek 1 Ukázka broušení [1]

Broušení je velice přesnou dokončovací operací, kterou v dnešní době dohnaly moderní metody obrábění na CNC strojích, jako např. jemné soustružení. Proto i na brousících strojích se začaly postupem času využívat CNC řízení především pomocí řídicích systémů. Broušení v některých oblastech nelze nahradit jinou metodou, protože při moderním broušení dosahujeme velmi jemných drsností a to až $Ra=0,001$, proto je také kladen důraz na tuhost stroje a geometrickou přesnost. Tato drsnost je při běžném obrábění téměř nedosažitelná. Na brousících strojích můžeme např. obrábět i kalené povrchy, které jsou běžnými metodami téměř neobrobitelné. Nevýhoda procesu je vznik vysokých teplot při broušení, kterou však můžeme odstranit vhodnou chladicí kapalinou. Proto si myslím, že brousící stroje mají stále budoucnost, která spočívá v automatizaci (úspora výrobního

času) a neustálém zdokonalování přesnosti stroje, jednou z takových firem je HM tools industrial s.r.o.

HM tools industrial s.r.o.

Hlavním programem firmy je výroba a prodej přesných nástrojů ze slinutého karbidu a to i včetně kombinace s ušlechtilou ocelí.

Firma byla založena v roce 2013 jako menší firma o 10ti zaměstnancích, s cílem uspokojení zákazníka v nejvyšší kvalitě a krátkých dodacích termínech.

Zabývají se výrobou nástrojů pro výrobu obalové techniky, tažírností, automobilový a zbrojní průmysl, polotovarů a speciálních nástrojů. [5]



Obrázek 2 Ukázka sortimentu [5]

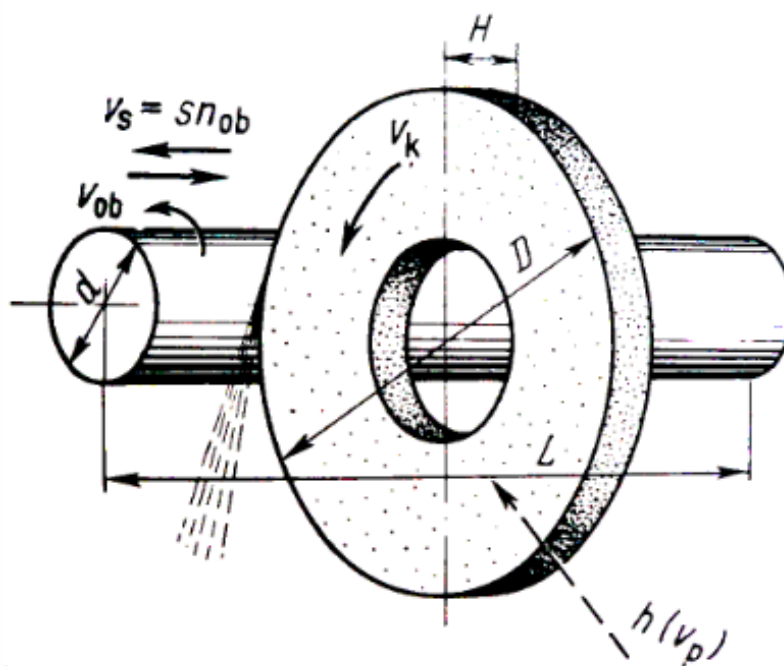
Firma neustálým zlepšováním technologické základy umožňuje dodávat produkty vysoké kvality, tím se stává konkurenčním dodavatelem v oblasti těchto průmyslů. Firma dodržuje ustavení dle ISO a tím je šetrná k životnímu prostředí.

2 Problematika broušení

2.1 Podstata broušení a brousícího nástroje

2.1.1 Zvláštnosti procesu broušení

Broušení je hromadné rychlostní mikrořezání (odírání) povrchových vrstev těles velmi jemnými zrna brusiva, stmeleny pojivem v nástroj; proces probíhá při značných rychlostech, nejčastěji do 50 m.s^{-1} , a ve zvláštních případech až do 100 m.s^{-1} . Broušením se dosahuje velké přesnosti obrábění. Současně se broušení používá i při předběžném obrábění polotovarů-čištění odlitků, výkovků apod. Základním způsobem broušení je broušení vnějších válcových ploch s posuvem podél osy obrobku (obr. 3). V tomto případě je řeznou dráhou zrna šroubovitá hypocykloidní křivka a řeznou plochu tvoří soubor hypocykloidních šroubovic. [1]



Obrázek 3 Schéma broušení vnějších válcových ploch s posuvem podél osy obrobku [1]

kde: $v_k [\text{m.s}^{-1}]$ - obvodová rychlost brousícího kotouče,
 $v_{ob} [\text{m.min}^{-1}]$ - obvodová rychlost obrobku,
 $v_s [\text{mm.min}^{-1}]$ - podélný posuv,

h (vp) [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] - přísuv,

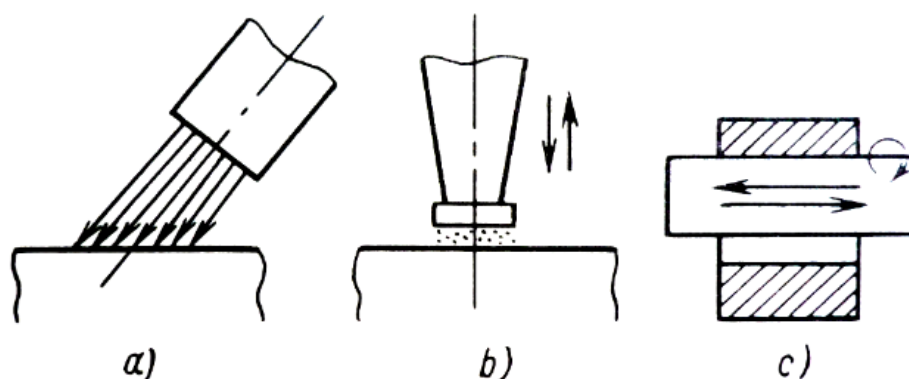
D, d [mm] - průměr brousicího kotouče,

H [mm] - šířka brousicího kotouče,

L [mm] - délka broušené plochy obrobku

Podle typu brousicího nástroje se rozlišují tyto druhy broušení:

1. vázaným pevným brusivem, což jsou zrna brusiva stmelená pojivem do tvaru kotouče, brousicího tělíska, segmentu, brousicího kamene či nástroje jiného tvaru, nebo zrna přilepená k pružnému podkladu, kdy řezný nástroj je ve tvaru brousicího pásu,
2. volným brusivem – při využití zrn ve formě prášku pro broušení kapalinou, ultrazvukem nebo jiným podobným způsobem obrábění tvrdých materiálů (obr. 4).



Obrázek 4 Základní způsoby broušení volným brusivem: a) proudem brusiva, b) ultrazvukové, c) lapování [1]

Nejčastěji se používá obrábění vázaným brusivem, které může být z korundu, karbidu křemíku, diamantu, kubického nitridu boru a dalších velmi tvrdých látek. [1]

Broušení jako metoda obrábění na čisto se vyznačuje:

1. vysokou produktivitou určenou velikostí plochy obrobku, opracované za časovou jednotku; produktivita se ovšem nevyznačuje pouze zvětšováním řezné rychlosti a obráběním velkých ploch, nýbrž i zkracováním doby nezbytné k upnutí a sejmutí obrobku,

2. vysokou přesností obrobených rozměrů v mezích od 2 do 3 μm i méně,
3. velkou geometrickou přesností tvaru obrobených ploch,
4. vysokou kvalitou povrchu – průměrná aritmetická úchylka profilu broušené plochy (dalším textu je R_a) řádově desetiny μm ,
5. vysokou kvalitou povrchové vrstvy obrobku s minimálním stavem napjatosti jeho materiálu,
6. možností obrábění velmi tvrdých materiálů (kalené oceli, slinutých karbidů, minerál-keramických materiálů atd.), protože zrna brusiva nástroje jsou velmi tvrdá a tepelně odolná. Tím, že se při broušení odebírá množství velmi jemných třísek z povrchu obrobku při působení malých řezných sil, se dosahuje velmi dobrých vlastností součástí. [1]

Mezi jednotlivými způsoby obrábění kovů není zásadní rozdíl, protože vytvářená třísek na řezných plochách různými obráběcími nástroji probíhá vždy stejně, nezávisle na konstrukci a tvaru nástroje. Ve všech případech je řezání postupný smyk a skluz jednotlivých částic – třísek, způsobený klínem, na který působí určitá řezná síla. To zhruba platí o pro broušení kovů. [1]

Přesto však má broušení následující zvláštnosti, jimiž se podstatně liší od obrábění kovovým nástrojem:

1. nepravidelné rozmístění velkého počtu malých zrn brusiva na pracovní ploše kotouče,
2. brousicí kotouč nemá souvislý břit,
3. různá výška zrn brusiva u kotouče,
4. určitá závislost mezi tloušťkou a šířkou vrstvy materiálu odebírané jednotlivými zrny brusiva,
5. zrna brusiva mají nepravidelný tvar a zaoblené vrcholy, které obvykle mají záporný úhel čela,
6. řezné elementární částice - zrna - mají velkou tvrdost, tepelnou odolnost, jsou ostrá, křehká a štěpí se v průběhu broušení atd.,

7. velké obvodové rychlosti a malá hloubka řezu každého zrna způsobují prakticky okamžité odebírání obrovského množství třísek za časovou jednotku,
8. každé zrna brusiva působí na broušenou povrchovou vrstvu dynamicky, což zvyšuje místní (okamžitou) teplotu procesu mikrořezání. V souvislosti s tím při odebírání mikrotřísek zrna kotouče nabývají významu i tepelné jevy a síly tření. [1]

Celkový počet třísek ubíraných brousicím kotoučem za časovou jednotku je neobyčejně velký. Protože zrna brusiva působí při broušení na povrchovou vrstvu pouze v místě styku kotouče s obráběným materiálem, vznikají zde značné teploty, které ovlivňují průběh broušení a vlastnosti povrchové vrstvy obrobku. V místě působení jednotlivých zrn mohou vzniknout vysoké okamžité teploty, které se často blíží k teplotě tavení obráběného materiálu. [1]

Zdrojem tepla vznikajícího při broušení je hlavně práce plastických deformací obráběného materiálu a práce vnějšího tření zrn brusiva a pojiva o povrch materiálu. Třecí síly vzrůstají zvláště při práci s otupeným brousicím kotoučem. [1]

Značná část mechanické práce broušení se spotřebuje na tření a poměr užitečné práce broušení k celkové vynaložené práci je relativně malý. Asi 80% celkové mechanické práce broušení se mění na teplo, zbytek přechází v potenciální energii deformace krystalické mřížky. [1]

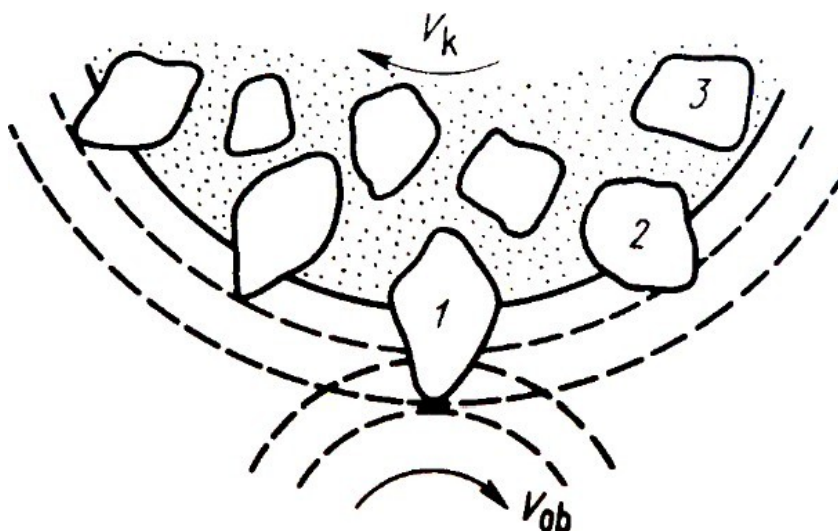
Při broušení kovových obrobků brousicími kotouči se prudce zvyšuje plasticita kovu v místě působení zrn a to se příznivě projevuje při ubírání třísky zaoblenými zrna kotouče. Povrchová vrstva broušené plochy je souborem mikronerovností, které mají nerovnoměrnou rozteč a relativně velké výškové rozdíly. [1]

Na broušení má vliv mnoho faktorů: trvanlivost kotouče, řezná síla, R_a , okamžitá teplota broušení. [1]

Povrch krystalu brusiva má vždy určitou drsnost, kterou způsobuje jeho vnitřní nedokonalost nebo podmínky jeho vzniku. Největší R_a mají běžné syntetické diamanty. [1]

Všechna zrna kotouče nemohou být rovnoměrně zatížena, protože jsou různě vysoká. Kotouč má nedokonalý geometrický tvar (kuželovitost, soudkovitost atd.) a jisté házení. Nejvíce zatížená zrna jsou vystupující nad ideální válcový povrch, zatímco ostatní snižena

zrna určitou dobu nepracují (obr. 5). Tato zrna začínají působit pouze po přirozeném opotřebování vyšších zrn nebo po orovnání kotouče. [1]



Obrázek 5 Zrna brousícího kotouče: 1-řezná, 2 -tlačná, 3 -pasivní [1]

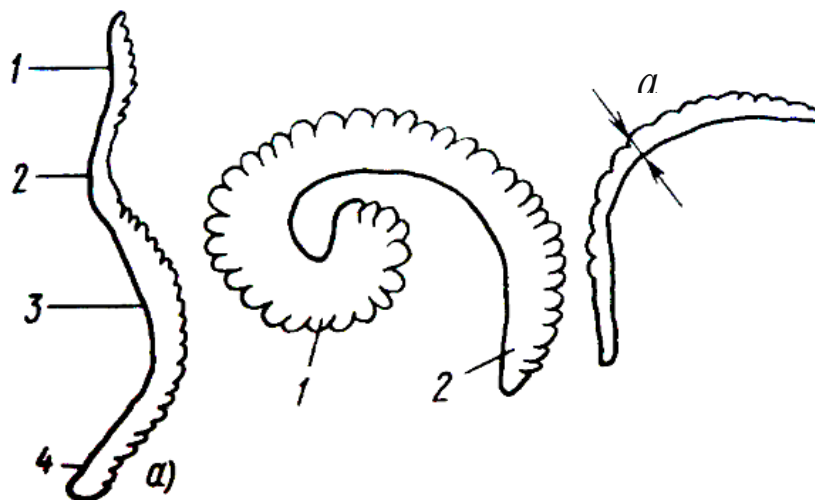
2.1.2 Základní prvky tvoření třísky při broušení

Pod pojmem tloušťka třísky se rozumí tloušťka materiálu odebíraného jedním brusným zrnem. Je to vzdálenost mezi plochami řezu vytvářenými dvěma následujícími i záběry břitů sousedních zrn. Měříme ji ve směru kolmém k ploše řezu. Při broušení vnějších válcových ploch s podélným posuvem je plocha řezu tvořena souborem hypocykloidních šroubovic. Na tloušťce třísky odebírané jedním zrnem brusiva závisí: otupení zrn (trvanlivost kotouče), řezná síla připadající na jedno zrno, R_a , okamžitá teplota v místě působení zrna apod. Tloušťka třísky ubíraná jedním zrnem má značný vliv na proces broušení, změnu pracovního režimu kotouče a podmínky broušení. [1]

Nepravidelné rozložení zrn brusiva na pracovní ploše kotouče způsobuje různou konfiguraci a rozměry třísek vrstev odebíraných jednotlivými zrny. Pro určitý brousící kotouč závisí tvar a rozměry třísek na řezných podmínkách, např. na poměru obvodových rychlostí. [1]

Při broušení jsou nejčastější tři tvary třísek: páskovité, zavinuté, segmentovité (obr. 6). Nejčastější je páskovitá tříska, jejíž tloušťka se postupně zvětšuje v bodech 1, 2, 3, 4 (obr.6a). Méně často se setkáváme se zavinutou třískou. Při hrubování obrobků z

houževnatých ocelí mohou být tyto třísky značně velké (obr. 6b). Za určitých podmínek může vzniknout tříska segmentovitá, která je nejtlustší ve své střední části, (obr. 6c). [1]



Obrázek 6 Typické druhy třísek vznikajících při broušení:
a) páskovitá, b) zavinutá, c) segmentovitá [1]

2.1.3 Brousící nástroj

Je to řezný nástroj, který se skládá ze zrn brusiva stmelěných v celek pojivem. Může mít tvar kotouče, brousicího tělíska, segmentu, pásu s pružným podkladem atd. [1]

Brousící nástroj

charakterizují: geometrický tvar a velikost, druh brusiva, pojivo, zrnitost, tvrdost, struktura a koncentrace brusiva. [1]

Diamantový brousící nástroj mívá buď polykrystalickou strukturu, kdy je ve tvaru kotouče, disku, tělíska apod. (tzv. diamantové nástroje prachové), nebo strukturu monokrystalickou (nože, orovnávače atd.). [1]

Diamantový brousící kotouč je nástroj ve tvaru rotačního tělesa určitého tvaru a skládá se nejčastěji z nosné části, na níž je upevněna diamantová vrstva (prstenec) tloušťky 1,5 až 3 mm. Nosné části diamantových kotoučů se vyrábějí z oceli, hliníkových slitin a plastů. Diamantové kotouče malých rozměrů jsou tvořeny pouze vrstvou diamantu. Tvar a umístění diamantové vrstvy brousicího kotouče se volí podle použití nástroje. [1]

Pracovní vrstva diamantového kotouče se skládá ze zrn diamantového prášku, pojiva a plniva. Přidá-li se plnivo, zvyšuje se pevnost a zlepšují řezné vlastnosti nástroje. Diamantový kotouč mívá zpravidla vrstvu, která odděluje nosnou část nástroje od vrstvy obsahující diamant. Tato vrstva chrání obráběný povrch před poškozením při úplném spotřebování diamantové vrstvy. [1]

Diamantové brousicí kotouče s keramickým pojivem jsou určeny pro ostření nožů s břity ze slinutého karbidu, pro broušení obrobků z tvrdých slitin a kobaltových, vanadových a vanado-kobaltových rychlořezných ocelí. Tyto kotouče mají při dostatečném chlazení velmi dobré řezné vlastnosti, nezanášejí se a zajišťují vysokou kvalitu povrchu obrobené plochy. Při výrobě diamantového brousicího nástroje se též používá jako pojivo elastická pryž. [1].

Kotouče s organickým pojivem se skládají z brusiva, pojiva (fenolformaldehydová pryskyřice, bakelitový prášek) a plniva (brusné nebo kovové prášky). Kotouče se podobají diamantovým kotoučům svým konstrukčním provedením, charakteristikou i technologií výroby a používají se při dokončovacích operacích. [1]

Koncentrace diamantu v pracovní vrstvě je množství diamantového prášku v 1 mm³ vrstvy vyjádřené v procentech. Koncentrace určuje produktivitu broušení a trvanlivost diamantového nástroje. [1]

2.1.4 Opotřebení a trvanlivost brousících kotoučů

Opotřebení pracovní plochy brousicího kotouče je složitý fyzikálně-chemický proces, jehož průběh závisí na všech podmínkách broušení. Opotřebení kotouče závisí na jeho trvanlivosti podle následujícího vztahu. [1]

$$U = \frac{C_T}{T_m^m}$$

kde: C_T [-]	konstanta závislá na podmínkách broušení,
T [hod.]	trvanlivost kotouče,
m [-]	exponent relativní trvanlivosti. [1]

Podle vlastností brousících kotoučů (tvrdosti, druhu pojiva, brusiva, rozměr, atd.) a podle řezných podmínek probíhá při broušení buď otupení kotouče, nebo se uplatňuje jeho samoostření. [1]

Otupení kotouče nastává v důsledku vylamování nevhodně položených zrn brusiva a jejich postupným štěpením a zaoblováním, takže zrna ztrácejí řezivost. [1]

Samoostření brousícího kotouče probíhá v důsledku postupného otupování zrn brusiva, která jsou se vzrůstajícím řezným odporem vylamována (celá nebo jen jejich části) z pojiva. Po vydrolení pojiva pak začínají pracovat nová zrna, proto se pracovní plocha kotouče neustále obnovuje. Tato schopnost obnovování řezné plochy je význačnou specifickou vlastností brousících kotoučů. [1]

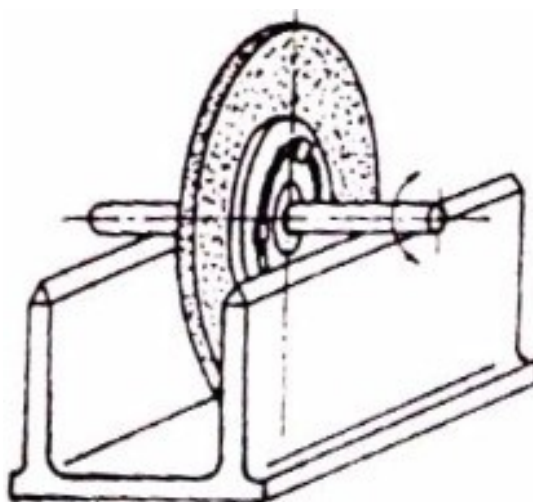
2.1.5 Vyvažování brousících kotoučů

Vyvažování brousícího kotouče spočívá v uspořádání kotouče tak, aby se jeho těžiště shodovalo s jeho geometrickým středem (osou otáčení). Nevyvážené síly se eliminují vyvážením kotouče. Kotouč pracuje klidně i při vysokých obvodových rychlostech, což je nezbytné k dosažení vysoké přesnosti rozměrů a kvalitního povrchu a ke snížení opotřebení ložisek brousícího vřetena. [1]

U nevyváženého kotouče vzniká při vysokých rychlostech setrvačná nevyvážená síla, která působí na vřeteno a jeho ložiska a negativně ovlivňuje soustavu stroj - nástroj - obrobek –přípravek. [1]

Při malé šířce brousícího kotouče, kdy jsou rotující hmoty téměř v jedné rovině, stačí jeho statické vyvážení. V tomto případě vytváří těžiště nevyvážené hmoty vzhledem k ose rotace statický moment, který otáčí kotoučem tak, aby těžiště procházela středem otáčení. [1]

Statické vyvažování brousícího kotouče se provádí na vyvažovacím stojánku představováním vyvažovacích tělísek v drážkách upínacích přírub (obr. 7). [2]



Obrázek 7 Statické vyvažování brousícího kotouče [2]

2.1.6 Tepelné jevy při broušení

V procesu mikrořezání se vytváří v povrchové vrstvě obrobku při broušení velký počet míst s vysokými teplotami, jejichž působením se povrchová vrstva intenzivně zahřívá. Tepelný proces v povrchové vrstvě obrobku se vyznačuje vysokou rychlostí místního ohřevu, krátkou prodlevou na této teplotě a rychlým ochlazením (zvláště při použití řezné kapaliny). [1]

Téměř veškerá mechanická práce v procesu mikrořezání přechází při broušení v teplo a pouze její zanedbatelná část (desetiny procenta) se spotřebuje na přeměnu krystalické mřížky obráběného materiálu. [1]

Vzniklé teplo přechází do obrobku, kotouče, třísky a řezné kapaliny. Největší množství tepla (až 80%) přechází při broušení do obrobku, nejmenší část tepla se ztrácí vyzařováním do okolního prostředí. Vysoké teploty broušení mohou způsobit defekty povrchové vrstvy obrobku a obrobek se znehodnotí. Proto se tepelný vliv stává jedním ze základních činitelů broušení. [1]

O vysokých okamžitých teplotách, které vznikají při broušení materiálů s vysokou pevností, svědčí proud jisker, vznikajících dokonce i při dostatečném množství řezné kapaliny. Tyto teploty zvyšují plasticitu obráběného kovu, a tím příznivě ovlivňují odebrání třísek v procesu mikrořezání.[1]

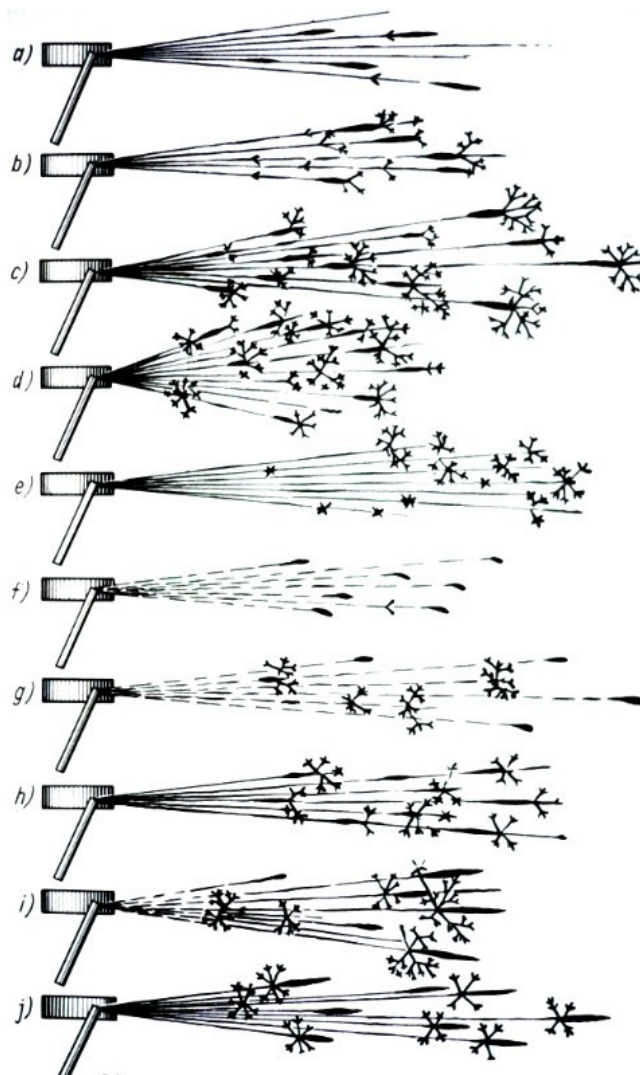
Vznik a rozdělení tepla při broušení závisí na všech podmínkách broušení: na typu kotouče, řezných podmínkách, mechanických a fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu, vlastnostech řezné kapaliny atd. [1]

2.1.7 Vznik jisker při broušení

Jiskry, které vznikají při broušení kovů s vysokou pevností, jsou velmi drobné roztavené částice kovů, odletující ve směru tečny k obvodu rotujícího kotouče v místě jeho styku s obrobkem. Tříska nebo roztavené částice kovu odletují působením odstředivé síly. [1]

Obsahuje-li broušený kov uhlík, je styk rozžhavených částic se vzduchem provázen oxidací, přičemž se uhlík spaluje na oxid uhličitý za vzniku jisker. Postavíme-li jiskrák do cesty skleněnou destičku, pokryje se drobounkými částicemi kovu, jejichž část pevně přilne k povrchu destičky. Větší třísky, které nedosahují teploty tavení, si zachovávají svůj původní tvar, nebo se roztavují pouze částečně. Délka dráhy jiskry je různá a závisí na hmotnosti třísky (větší třísky odlétají dále). [1]

Barva a tvar jisker (struktura paprsků) jsou dány hlavně chemickým složením broušeného materiálu; toho se využívá k určování druhu oceli podle jisker (obr. 8) vznikajících při broušení. [1]



Obrázek 8 Druhy jisker při broušení různých ocelí:

a) měkká uhlíková, 0,12% C, barva slámově žlutá, b) uhlíková, 0,5% C, barva světle žlutá, c) uhlíková, 0,9% C, barva jasně žlutá, d) uhlíková, 1,2 - 1,4% C, barva bílá, e) manganová tvrdá, 13% Mn, barva tmavě žlutá až červená zářivá, f) rychlořezná, barva tmavě červená, g) wolframová, barva tmavě červená, h) křemíková, barva světle žlutá, i) chromová, barva podle obsahu uhlíku, j) chromniklová, barva žlutá [1]

2.1.8 Řezné prostředky při broušení

Při broušení se používají různé řezné prostředky s chladicím a mazacím účinkem v pevném, kapalném i plynném stavu. Mají různé složení a fyzikálně-chemické vlastnosti a podstatně ovlivňují produktivitu broušení a kvalitu broušené plochy. [1]

Jako pevné řezné prostředky se používají polymerní, lehce tavitelné, chemicky aktivní vrstvy tuhé pasty nanášené na brusný kotouč nebo obrobek. Někdy se používají plynné řezné prostředky, především aerosoly, což jsou rozprášené řezné kapaliny. [1]

Nejčastěji se však používají řezné kapaliny. Mají chladicí, mazací, řezný a čistící účinek. Od řezné kapaliny se vyžaduje:

Chladicí a mazací účinek, usnadňování odvodu třísek; tyto činitele přispívají ke zlepšení kvality broušené plochy a zvyšují produktivitu broušení, antikorozní účinek, projevující se ochranou obrobku a brusky před korozí, chemická a fyzikální stálost, musí být netoxická, baktericidní a hygienická; nesmí obsahovat škodlivé látky a zapáchat, bezpečnost před požárem a explozí, příznivý vliv na sedimentaci odpadu broušení, aby nedocházelo k jeho opakovanému oběhu. Kapalina má mít optimálně aktivní účinek pro určitý obráběný materiál a zvolené řezné podmínky. [1]

Základním účinkem řezné kapaliny je chladicí účinek. Má dobře chladit celý obrobek v oblasti broušení, snižovat tření a odstraňovat odpad broušení, čímž se zlepšuje kvalita broušené plochy, stoupá trvanlivost kotouče i produktivita broušení. Řezná kapalina nejvíce působí na povrchovou vrstvu obrobku, kde v důsledku působení zrn brusiva při vysokých rychlostech vzniká velký počet ohnisek s vysokou teplotou. Řezná kapalina vytváří příznivější podmínky pro činnost zrna brusiva a omezuje vznik hlubokých (nepravidelných) povrchových rýh tím, že očišťuje oblast broušení a kotouč od drobných kovových třísek a jiných odpadů (úlomky brusiva, pojiva). Řezná kapalina však zřejmě neproniká do místa záběru zrn, a proto jen málo ovlivňuje okamžité teploty v místě jeho činnosti. [1]

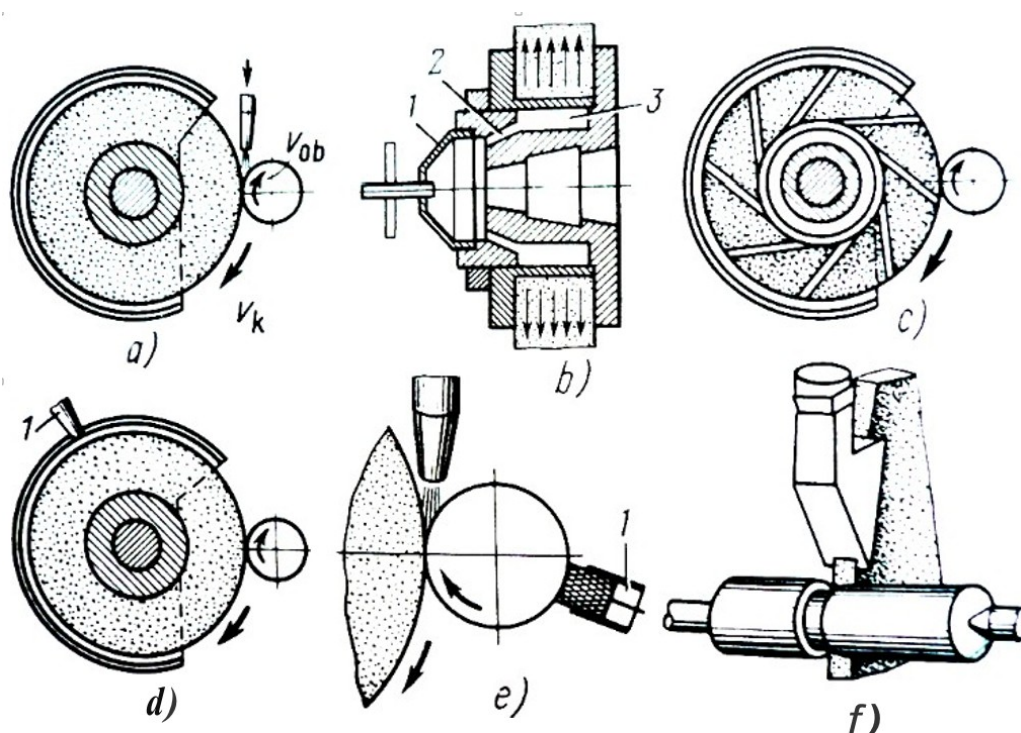
Mazací účinek řezné kapaliny se projevuje vytvářením pevného mazacího filmu na třecích plochách zrn brusiva a pojiva kotouče, čímž klesá součinitel tření a tedy i třecí síly, neboť se přerušuje přímý styk třecích částic. Přílišné množství mazacích látek v řezné kapalině není však žádoucí, protože se zanáší kotouč a narušuje se jeho správná činnost. [1]

Podle složení a vlastností se řezné kapaliny, používané při broušení, dělí na emulze a oleje. Emulze obsahují mikroskopické částičky (kapičky) jiné kapaliny; může to být např. směs vody s tukem a zásadou. K spojení základních složek emulze se obvykle používají glykoly nebo jejich étery. Základní emulzí pro broušení bývá voda s přídavkem malého množství speciálních přísad (antikorozních a baktericidních látek, emulgačního činidla).

Emulze používané při broušení mají mléčně bílou barvu a dobrý chladicí účinek, ale malý účinek mazací. Velmi jednoduchou emulzí je 3% sodný roztok, používaný při broušení slinutých karbidů diamantovými kotouči s kovovým pojivem apod. [1]

Řezné oleje pro broušení se skládají z minerálního oleje s tukovými a chemicky aktivními přísadami, podporujícími stálost kapaliny při vysokých teplotách a tlacích. Nejaktivnější přísady jsou látky obsahující síru. [1].

Řeznou kapalinu lze do zóny broušení přivádět různými způsoby (obr.9). Nejčastěji je to jednoduché polévání podle obr. 9a. Proud přiváděné chladicí kapaliny má být vydatný a nepřerušovaný. Šířka proudu chladicí kapaliny nemá být menší než šířka kotouče. [1]



Obrázek 9 Způsoby přivádění procesní kapaliny do zóny broušení:

a) volně padající proud, b) póry brousícího kotouče (1 - nástavec přívodu kapaliny, 2 -spojovací kanály, 3 -prostor shromažďování kapaliny), c) pomocí otvorů v brousícím kotouči, d) mimo zónu broušení (1- tryska přívodu kapaliny), e) kombinovaný využívající volně padajícího proudu a nanášení na povrch obrobku (1 -zařízení pro nanášení tenké vrstvy povrchově aktivního řezného prostředku), f) s použitím ochranného krytu (při rychlostním broušení [1])

2.2 Brousící stroje

Hlavní řezný pohyb u brusek provádí rotující nástroj, popř. vzájemná rotace nástroje i obrobku. Posuvný přímočarý pohyb vykonává buď nástroj vůči obrobku, nebo obrobek vůči stroji. Problémem u brusek jsou výpočty dynamické stability, vyváženosti a výpočet tepelné stability stroje. Podle konstrukční koncepce dělíme brousící stroje: hrotové brusky, rovinné brusky, brusky na otvory, brusky na ozubení. Používají se zejména tehdy, je-li požadován přesný tvar např. kruhovitost nebo pro získání vysoké jakosti obrobenej plochy ($R_a=0,8$ až $0,2\mu\text{m}$), kterou jiným způsobem třískového obrábění nelze docílit. Na těchto strojích je také možno obrábět kalené materiály, které jsou za normálních podmínek téměř neobrobitelné. [3]

NC technika narážela zpočátku na specifické problémy brousících procesů. Teprve nástup softwarových číslicových řídicích systémů CNC na bázi mikropočítačů s použitím mikroprocesorů a polovodičových pamětí dochází k rychlému rozšíření na všechny typy brusek. V dnešní době číslicově řízené brusky mají nejen CNC řízení, ale také NC řízení jedné osy, nebo dokonce pouhou indikací polohy. Zavedením CNC řízení došlo ke zvýšení spolehlivosti a zejména zjednodušením programování a tím jeho zpřístupnění pro běžnou obsluhu. Další výhodou je zmenšení přírůstku odměřování až na $s=0,1\mu\text{m}$. [2]

Simulace broušení U CNC brusek musíme nejprve vytvořit program pro samotné broušení to je možné např. v programu NUMROTO plus. Tento program je navržen tak, že je možné využít jej k výrobě a broušení prakticky jakéhokoliv tvaru nástroje. S jeho pomocí lze vyrábět nebo brousit i speciální kombinované nástroje. K dispozici je řada způsobů opracování, které lze navzájem kombinovat. Model nástroje zhotovený pomocí programu přesně odpovídá vlastnímu procesu broušení, protože respektuje geometrii brusného kotouče, včetně rádiusů a úhlů. I když software umožňuje 2D simulaci, před broušením nástrojů je žádoucí provést 3D simulaci celého nástroje. Pro tyto účely obsahuje NUMROTO plus rozhraní pro osvědčený 3D simulační software. Stisknutím tlačítka jsou vygenerovány všechny dráhy broušení, takže nástroj může být simulován přímo v 3D softwaru. [3]

2.2.1 Vnitřní brousící stroje

Jsou určeny pro broušení válcových, kuželových i tvarových rotačních ploch v otvorech. Má brusný vřeteník, který se otáčí pomocí asynchronního motoru. Obdobným způsobem je také poháněn nástrojový brusný vřeteník. Brousící pohyb je realizován pomocí složeného rotačního pohybu nástroje a obrobku za současného podélného přísuvu nástroje po vodících plochách litinového lože. Elektoskříň musí být chlazená, protože je zde velký vznik tepla. Vyrábějí se nejčastěji ve vodorovných provedeních. Jedním z nejdůležitějších prvků těchto brusek jsou ložiska, které vedou vřeteník, protože i malá odchylka osy ložisek od ideální osy vřeteníku může mít vliv na přesnost obrobku, proto se snažíme, aby přesnost ložisek byla co největší (tedy přesnost obvodového tvaru, vlnitosti oběžných drah ložiskových kroužků, chyby úhlového přesazení a chodu v zabudovaném stavu) proto používáme ložiska s nejvyšším stupněm přesnosti, axiální a radiální síly na ložiska byla co nejmenší a tuhost brusného vřetení byla co nejlepší. Lze je rozdělit na brusky s otáčejícím se obrobkem, s neotočným obrobkem a planetovým pohybem brousícího kotouče. [4]

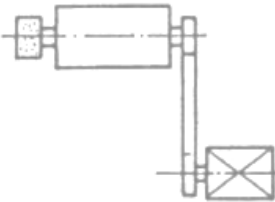
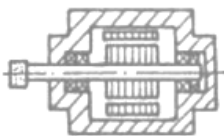
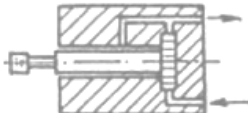
1) Brusky s otáčejícím se obrobkem

Dle konstrukčního uspořádání se dále dělí- pracovní posuv a přísuv vykonává a) brousící vřeteník b) unášecí vřeteník - pracovní posuv vykonává unášecí vřeteník a přísuv brousící vřeteník a naopak. Ve všech těchto případech je unášecí vřeteník je natáčecí pro broušení kuželových ploch. [4]

2) Brusky s planetovým pohybem

Používají se pro obrábění děr ve velkých nerotačních předmětech. Vřetení se s brousícím kotoučem neotáčí jenom kolem své osy, ale také obíhá kolem osy shodné s osou broušené díry. [4]

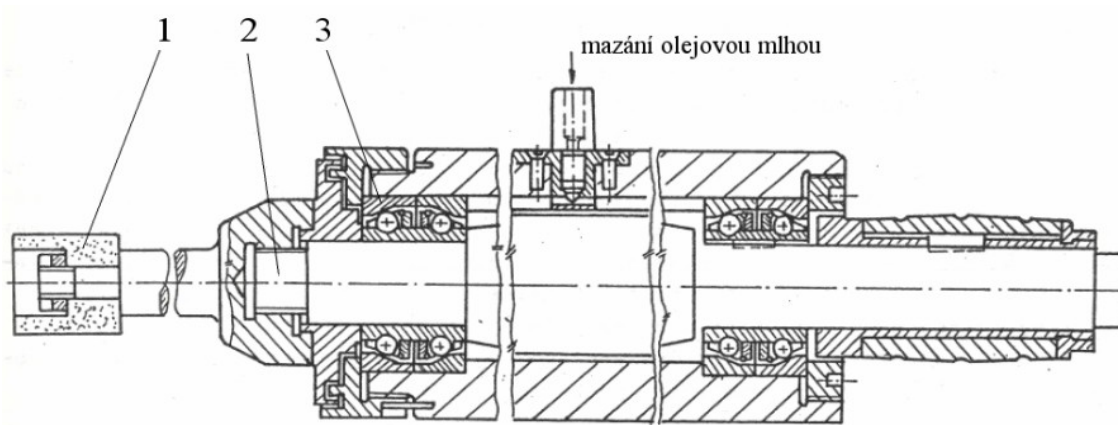
Velký význam pro brusky na otvory je dynamicky stabilní pohyb vřetení, který pracuje ve velmi vysokých otáčkách. Jedná se o tyto principy pohonu viz. obr. 11. Pohon přesně dynamicky vyváženým elektromotorem přes vhodný řemenový převod. S vestavěným elektrovřetenem. S vzduchovou turbínkou pro extrémně vysoké hodnoty otáček (pro vybrušování malých průměrů). [4]

Druh pohonu			
Limitující faktor pro	Řemenový	Vestavný motor	Vzduchová turbinka
Výkon na brusném kotouči	Řemenový převod	Tepelné zatížení $N_{\max} = 8 \text{ kW}$	Přeměna vzduchové energie $N_{\max} \leq 1 \text{ kW}$
Maximální otáčky	Rychlost řemene $n_{\max} = 50000 \text{ min}^{-1}$	Pevnost rotoru $n_{\max} = 120000 \text{ min}^{-1}$	Uložení rotoru $n_{\max} \leq 400000 \text{ min}^{-1}$

Obrázek 10 Druhy pohonů [4]

2.2.1.1 Vybrušovací vřetena s řemenovým převodem

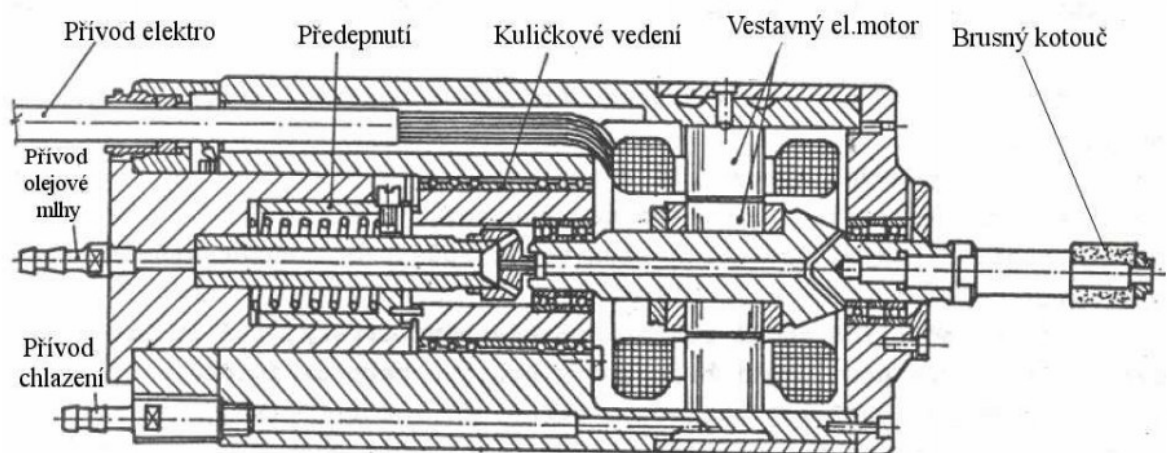
Jsou používány pro otáčky v rozsahu 8000 až 40000 ot/min. Vřeteno je uloženo ve speciálních kuličkových ložiskách, dvouřadých s kosoúhlým, třibodovým stykem v oběžných drahách. Mazání je řešeno olejovou mlhou, kde vnitřní přetlak chrání vnitřní prostor před nečistotami a prachem a současně zajišťuje chlazení ložisek. Pohon má být proveden pomocí tenkostěnného řemene o tloušťce 0,7 mm. Tento typ vybrušovacích vřeten je vhodný pro broušení vnitřních otvorů o průměrech v rozsahu 13 až 120 mm, brusnými kotouči průměru 14 až 72 mm. [3], [4]



Obrázek 11 Vybrušovací vřeteno[3] 1- brusný kotouč, 2 – vřeteno, 3- ložisko

2.2.1.2 Vysokootáčková elektrovřetena poháněná vestavěným elektromotorem

Elektromotor je napájený proudem o zvýšeném kmitočtu z měniče frekvence až do otáček 12 000 ot/min. Má podstatně širší využití. Vřeteno je uloženo na vysoce přesných kuličkových ložiskách s kosoúhlým stykem. Vůle v ložiskách je vymezována pružinami. Ložiska jsou mazána olejovou mlhou ze zvláštního přístroje. Tím je zajištěno jak dokonalé mazání tak i chlazení ložisek. Přetlak uvnitř vřetena navíc zabraňuje vnikání chladicí řezné kapaliny a nečistot do vřetena. [3],[4]

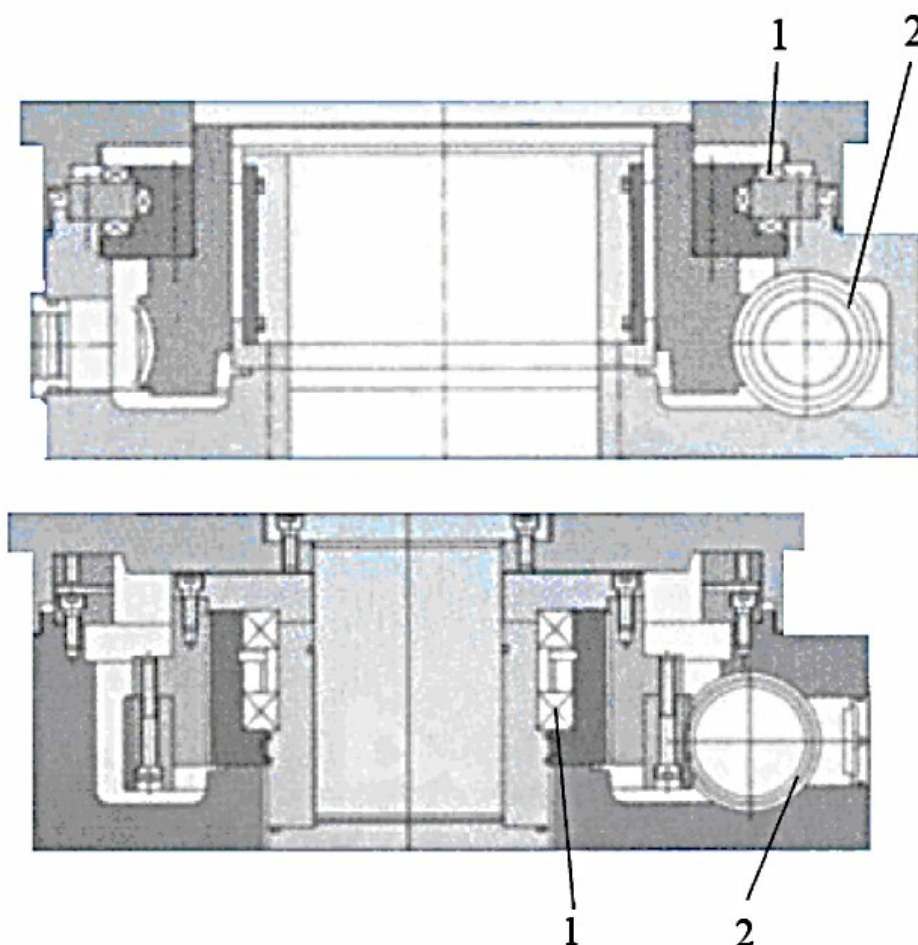


Obrázek 12 Vysokootáčkové elektrovřeteno [3]

2.2.2 Univerzální brousící stroje

Tento typ brusek je navržen pro kompletní obrobení obrobku (lze brousit vnější plochy i vnitřní plochy). Jsou vyráběny se svislou i vodorovnou osou. Oba dva vřeteníky (obrobkový i brusný) jsou pohyblivé po klasickém vedení. Brusné vřeteníky jsou polohovány pomocí Hirthova ozubení nebo pomocí tzv. C osy. Obrobkový vřeteník může mít různé zakončení čela. Stroj je navržen maximálně stavebnicově pro snadný transport. Tyto stroje by se daly též označit anglickým pojmem all-rounder. Určeny jsou pro kusové a malosériové opracování širokého spektra rotačních obrobků technologiemi podélného a zapichovacího broušení vnějších i vnitřních rotačních ploch a čel. Do této kategorie lze zařadit univerzální horizontální hrotové a bezhroté brusky. Především hrotové brusky jsou výrobci nabízeny se širokým spektrem provedení brousících vřeteníků tak, aby počet,

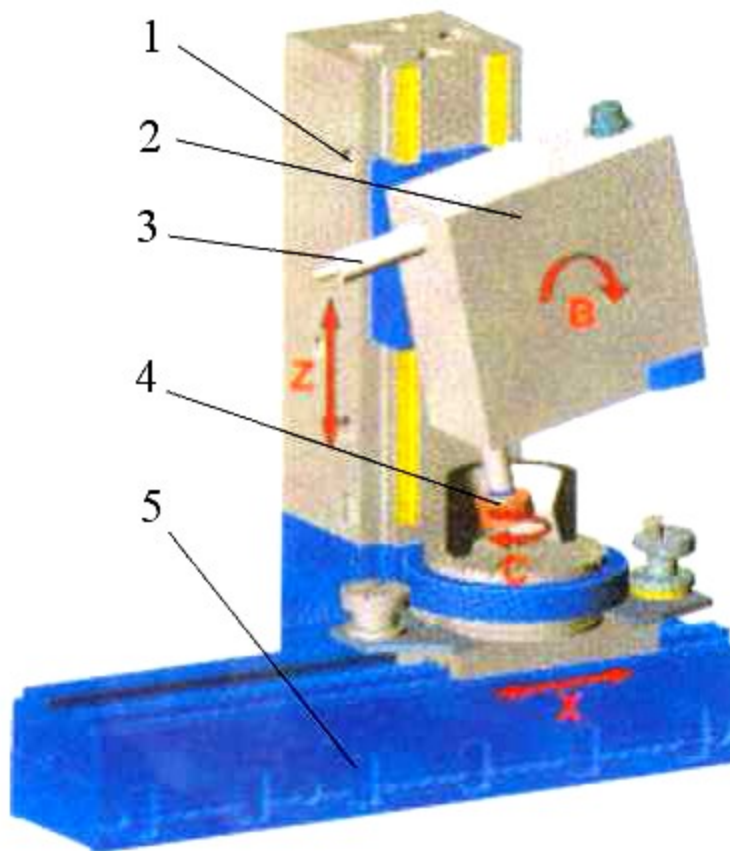
uspořádání a parametry každého vřeteníku vyhověly konkrétním požadavkům zákazníka. I z tohoto důvodu jsou stroje vybavovány řídicími systémy s přehledným rozhraním pro programování stroje jako např. bruska Kellenberger viz.níže [4].



Obrázek 13 Polohování dle C-osy, 1 – ložiska, 2- šnek [4]

2.2.2.1 Univerzální vertikální bruska s otočným stolem

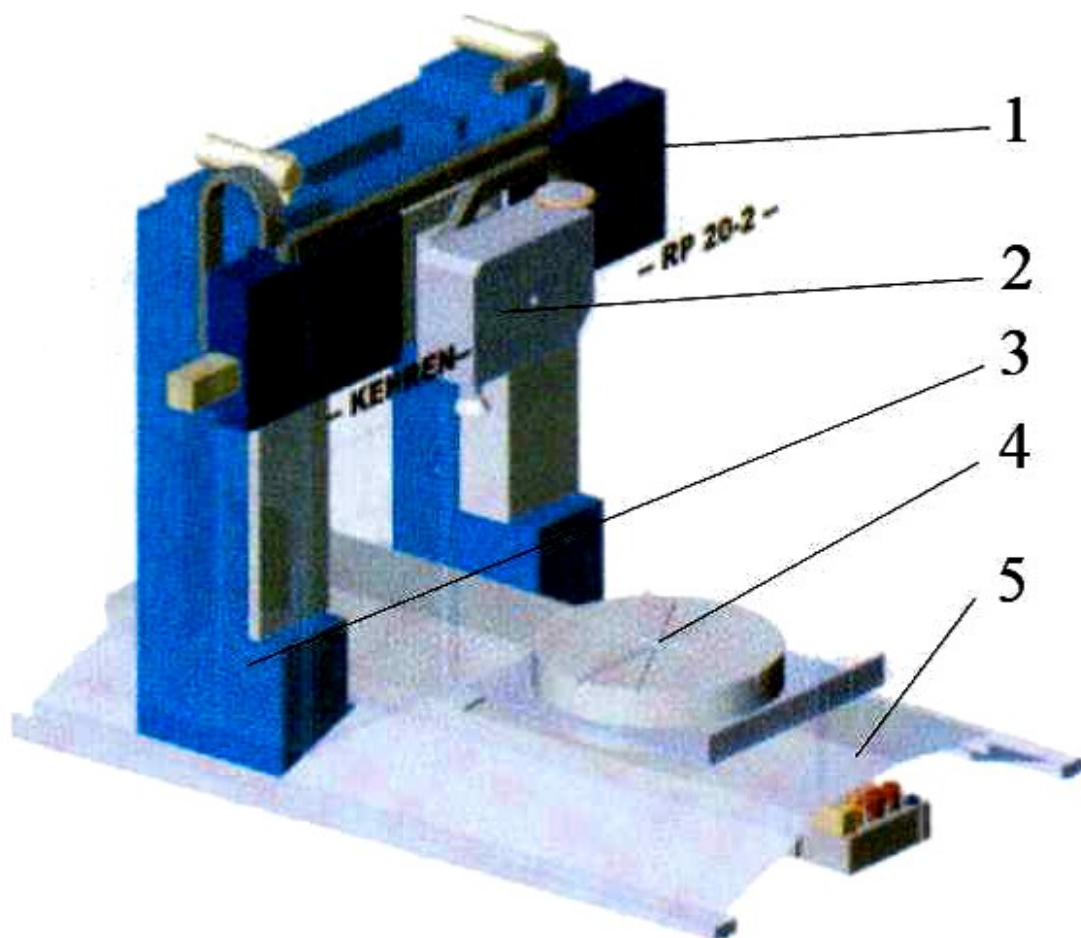
Umožňuje operace broušení čela, vnitřních ploch, otvorů, kužele a rádiusů. Hlavními znaky brusky je široký rozsah aplikací v technologii broušení, vysoce přesné obrábění, tuhý litinový rám, hydrostatické vedení. [3], [4]



Obrázek 14 Univerzální vertikální bruska s otočným stolem, 1-Stojan, 2-otočná hlava, 3-vřeteno, 4-brusný kotouč, 5-vedení [4]

2.2.2.2 Univerzální portálová bruska

Umožňuje všechny operace jako vertikální bruska s otočným stolem a k tomu navíc horizontální obrábění, broušení vodících ploch, broušení ve sklíčidle, komplexní obrobení při výměně nástrojů, tvrdé soustružení a frézování, závitování a obrábění speciálních materiálů. Konstrukčními znaky jsou: vertikální a horizontální obrábění na jedno upnutí, průměr stolu 500-3500mm, přesuvný stůl, hydrostatické vedení a litinová konstrukce zajišťující přesné obrábění a kompaktnost. [3], [4]



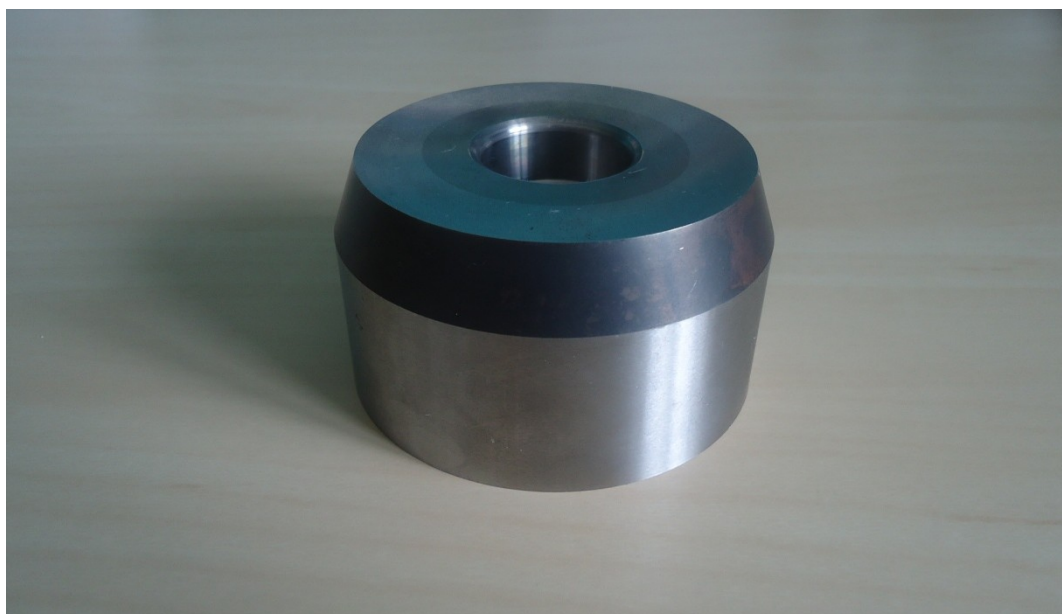
Obrázek 15 Univerzální portálová bruska, 1-příčné vedení, 2-vřeteno, 3-rám, 4-polohovací stůl, 5-základní deska [4]

3 Návrh nové technologie

3.1 Popis vybraného dílce

3.1.1 Matrice

Matrice slouží pro výrobu hliníkových tub (například pro lepidlo a různé náplně). Matrice je vyrobena s tvrdokovu a ten je zalisován s přesahem do ocelové objímky z důvodu předpětí tvrdokovu, který je sám osobě křehký. Tímto se zamezí možnému prasknutí tvrdokovu. Tato matrice je velice odolná proti mechanickému opotřebení (otěru), proto má daleko větší životnost než nástroje z oceli. Pro srovnání ocelový nástroj vyrobí cca 500.000 tub a nástroj z tvrdokovu 3.000.000 tub.



Obrázek 16 Ukázka matrice [7]

3.1.2 Polotovar

Je to tvrdokov označován G30. Polotovar je vyráběn práškovou metalurgií, kde se práškový kov (wolfram a kobalt) namíchá v daném poměru (u tvrdokovu G30 15% kobaltu a 85% Wolframu). Dále se tento prášek lisuje předepsaným tlakem a obrábí na požadovaný tvar. Musí se počítat se smrštěním v peci, proto se polotovar vyrábí o cca 30% větší, než je výsledný kus. Po obrobení je polotovar vložen do slinovací pece, kde za přítomnosti vakua

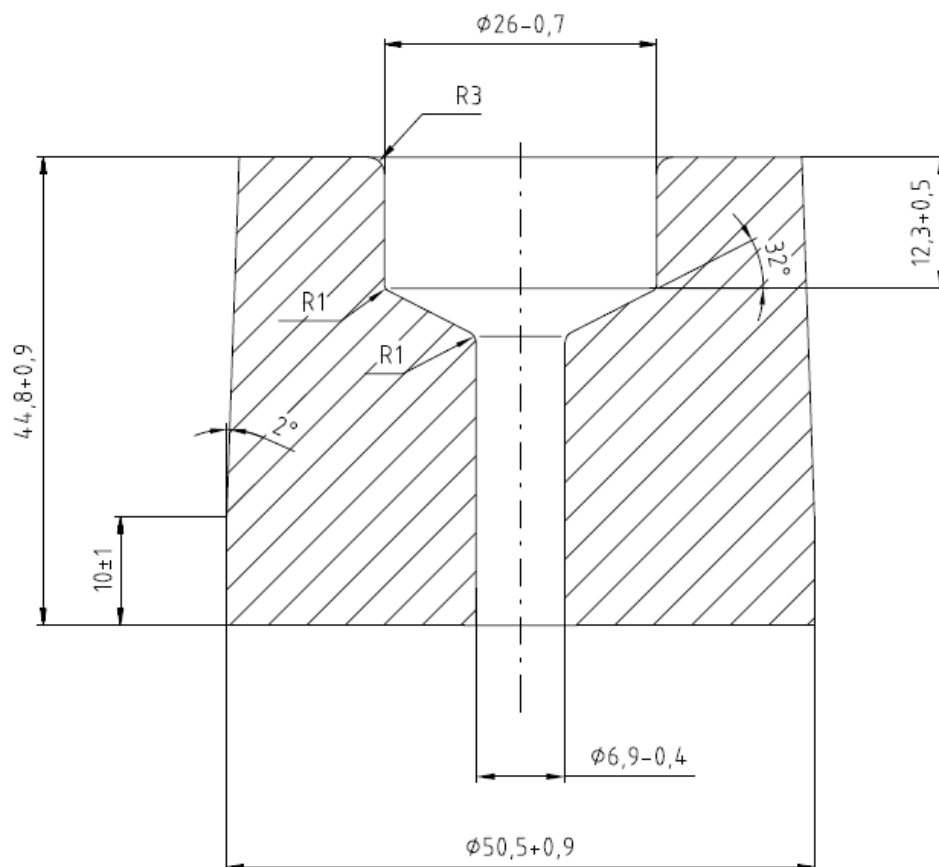
nebo ochranné atmosféry vodíku dochází při teplotě cca 1500°C ke slinování. V tomto procesu se rozpouští kobalt a spojí zrna wolfram k sobě jako pojivo. Dále se v peci Hipuje což znamená, že se v peci vytvoří přetlak a kus se tlakem doformuje. Celý proces trvá zhruba 20 hodin dle počtu tvrdokovu.

Vlastnosti tvrdokovů:

- Vysoká rozměrová stálost
- Velmi dobrá kvalita povrchů
- Dlouhé životnosti
- Maximální jistota výrobního procesu
- Vysoká lomová houževnatost, otěruvzdornost [7]

Odvětví/aplikace

- Automobilový průmysl
- Stavební a kovodělný průmysl
- Elektrotechnický průmysl
- Šperkařský průmysl
- Matrice pro tažení trub a profilů
- Matrice pro tažení tyčí [7]



Obrázek 17 Rozměry polotovaru [7]

3.1.3 Objímka

Objímka je vyrobena z oceli 19552. Je to nástrojová ocel. Používá se v tomto odvětví hlavně proto, že má vysokou popouštěcí teplotu a jelikož jsou tyto díly kalené na $47\pm 2\text{HRC}$, musí se zabránit jejich změknutí při nahřívání a následném zalisování s přesahem. Tento materiál to umožňuje, jelikož jeho popouštěcí teplota je cca 600°C a výrobky se nahřívají při zapouštění na cca 500°C .

Charakteristika oceli

Je to středně legovaná nástrojová ocel s vysokou prokalitelností a houževnatostí. Vyznačuje se velmi dobrými pevnostními vlastnostmi za tepla. Má dobrou tepelnou vodivost, odolnost k tvorbě trhlin za tepla a malou citlivost na prudké změny teploty. [6]

Použití oceli

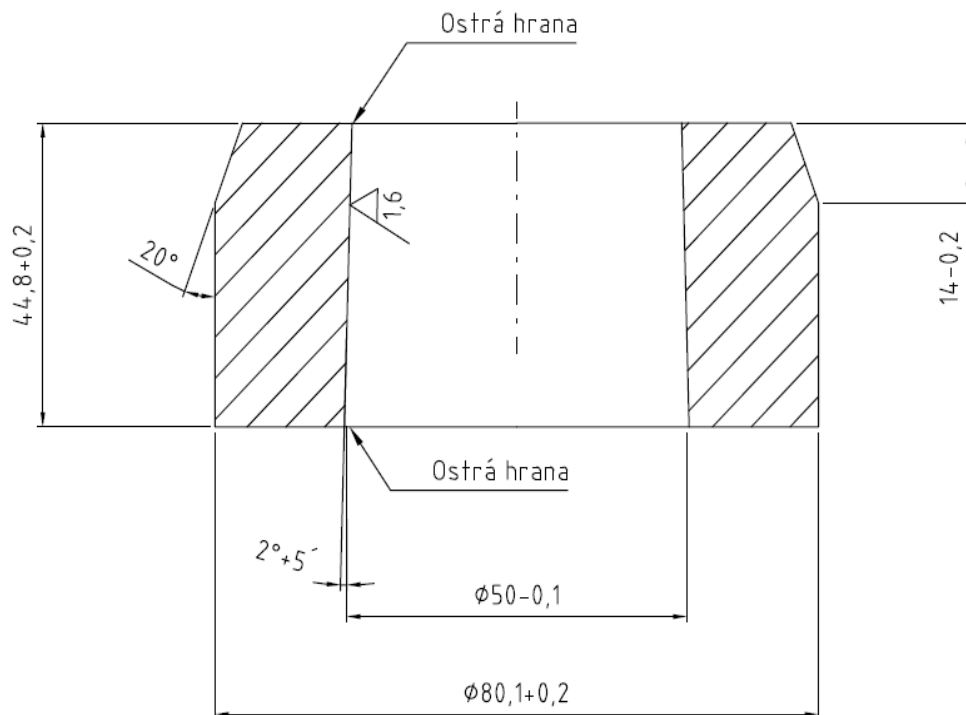
Formy k tlakovému lití neželezných kovů pro vysoké výkony při lití hliníku a slitin hliníku, nástroje k průtlačnému lisování neželezných kovů, namáhané nástroje pro práci za tepla, strojní součásti velké pevnosti. [6]

Tabulka 1 Chemické složení oceli [6]

Chemické složení v %							
C	Si	Mn	P max	S max	Cr	Mo	V
0,36-0,42	0,90-1,20	0,30-0,50	0,030	0,030	4,80-5,50	1,10-1,40	0,25-0,50

Tabulka 2 Tepelné zpracování [6]

Tepelné zpracování	
Žihání na odstranění pnutí	600 - 650°C
Kalící teplota	1020 - 1050°C
Dosažená tvrdost po kalení	54 - 55 HRc
Rozmezí popoušt. teplot	450 - 650°C 2x 1 hod
Žihání na měkko	780 - 820°C
Tvrdost po žihání	200 HB



Obrázek 18 Rozměry objímky [7]

3.2 Postup výroby - původní technologie

Dosud používaný postup výroby součásti je prováděn prostřednictvím deseti operací s různými stroji. Jedná se o brusku pro vnější broušení BU-16, rovinnou brusku BPH20, otvorovou brusku pro rovné díry BDU 250A, kooperaci v externí firmě a leštění. Jakmile je výroba hotová projde kus kontrolou, kde dojde k důkladnému přeměření rozměrů. Poté se kus zabalí a s vyplněnými protokoly se odváží zákazníkovi.

Tabulka 3 Původní technologický postup

Operace	Použitý stroj	Popis operace
1	Bruska pro vnější broušení	Zarovnat vnější průměr. Čela brousit, úhlovat dle průměru s příd. 0,3-0,4. Brousit úhel 1,5°. Pozor ze správné strany. Dodržet Ra 0,4. Lícovat dle objímky, přesah dle k výkresu.
2	Nahřívací pec	Zapustit SK dle popouštěcí teploty.
3	Bruska pro vnější broušení	Ve hrotech brousit vnější *79,9-0,05 hotově.
4	Rovinná bruska	Čela úhlovat dle průměru hotově na horní mez.
5	Bruska na vnitřní broušení	Brousit *7 +/-0,05 na hotovo, vyrovnat na vnější průměr.
6	Bruska na vnitřní broušení	Zarovnat vnitřní tvar bez fleku, vyrovnat na vnější průměr.
7	Kooperace	Soustružit vnitřní tvar na hotovo.
8	Leštění	Leštit vnitřní tvar Ra 0,05 včetně R2,5.
9	Bruska pro vnější broušení	Brousit kužel 20° v délce 14 +/-0,05.
10	Značení, balení a kontrola	Značit: dle výkresu. Balit. Výstupní kontrola.

Použité stroje

Rovinná bruska BPH 20

Rovinná bruska se používá k broušení rovinných ploch. Nejčastěji se používá při dokončovacích operacích, kdy dochází k odebrání malého množství materiálu, následně obrobek dostává přesný rozměr. Skládá se ze stojanu s motorem a převodovkou, vodorovného stolu a vřeteníku, který obvykle obstarává svislý posuv kotouče. [7]

Tabulka 4 Parametry stroje BPH 20[7]

Upínací plocha stolu	200 x 630 mm
Podélný pohyb stolu – osa x	630 mm
Příčný pohyb stolu – osa z	230 mm
Svislý pohyb stolu – osa y	350 mm
Otáčky brousícího vřetene	2440 ot/min
Max. hmotnost obrobku	180 kg
Celkový příkon stroje	2,7 kW
Hmotnost stroje	1600 kg



Obrázek 19 Rovinná bruska[7]

Bruska pro vnější otvory BU 16

Bruska je určena pro velmi přesné broušení válcových a kuželových ploch vnějších i vnitřních, zápichovým i podélným způsobem. Je vyhovující obzvláště pro broušení malých dílců ve středních a malých sériích, kde se vyplatí použít automatický pracovní cyklus. [7]

Tabulka 5 Parametry stroje - Bruska pro vnější otvory[7]

Max. průměr broušení	160 mm
Vzdálenost mezi hroty	320 mm
Max. šířka kotouče	40 mm
Natočení stolu	o +/- 10
Rychlost stolu	0,05 - 7 m.min ⁻¹
Výkon hl. elektromotoru	2,2 kW
Rozměry stroje	2025 x 1190 x 1470 mm
Hmotnost stroje	1520 kg



Obrázek 20 Bruska pro vnější otvory [7]

Otvorová bruska pro rovné díry BDU 250 A

Brusky slouží k broušení vnitřních rotačních a čelních ploch. Obrobky se upínají do sklíčidla nebo magnetické desky. Obrobek a brousící kotouč mají opačné smysly otáčení. Bruska má vyměnitelná vřetena. [7]



Obrázek 21 Otvorová bruska pro rovné díry [7]

Tabulka 6 Parametry otvorové brusky pro rovné díry [7]

Max. průměr broušeného otvoru	250 mm
Max. průměr broušení	250 mm
Max. průměr obrobku	400 mm
Max. hmotnost obrobku	100 kg
Příkon stroje	9 kW
Hmotnost stroje	3560 kg

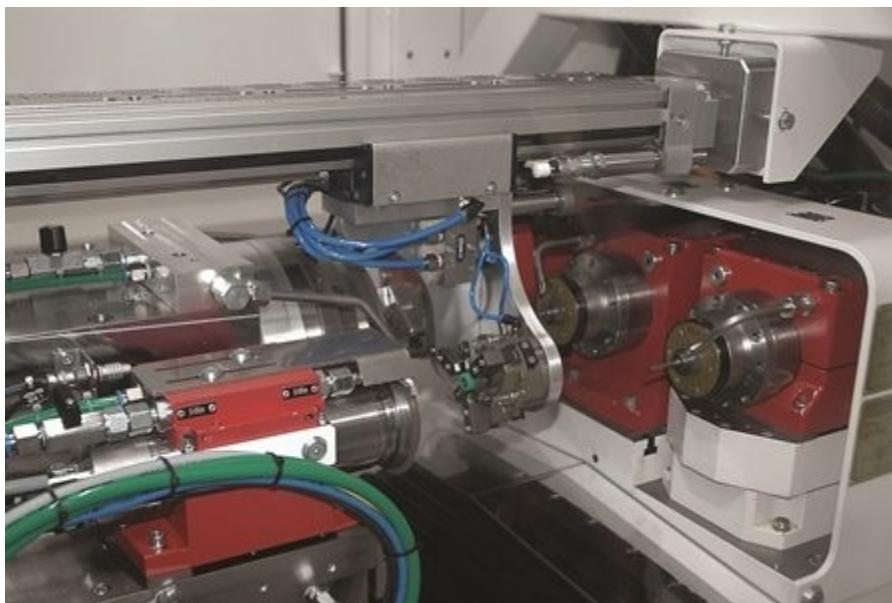
3.3 Postup výroby - nová technologie

Vzhledem k myšlence zproduktivnit stávající výrobu matrice byla použita technologie označena za nedostačující. Proto se firma rozhodla pořídit nový a výkonnější stroj. Při navrhování a výběru nového stroje jsem se snažila navrhnout postup s co nejmenším počtem výrobních operací, aby došlo k urychlení výroby a zároveň ke zkrácení výrobních časů. Tímto navrhuji stroj: CNC brusku na vnitřní otvory CT960.



Obrázek 22 CNC bruska [7]

Stroj CT960 se používá pro přesné broušení vnitřních otvorů. Je určen pro obrábění velmi tvrdých materiálů, jako je karbid wolframu, keramika nebo safír. Díky jednoduchému tvaru brousicích kotoučů je možné vytvářet různé geometrické tvary. Stroj je dále vybaven otočnou B osou s možností interpolace B, X a Z osy. Využívají zejména pro výrobu zápustek, tažných matic z tvrdokovu, pístů nebo hydraulických komponent. [7]



Obrázek 23 CT960 s rychlonakladačem [7]

Tabulka 7 Parametry nového stroje [7]

Délka dílu	Max. 300 mm
Délka broušení	Max 150 mm
Výška hrotů nad stolem	150 mm
Vřetena na revolveru až max.	4 vřetena
Vysokofrekvenční vřeteno Ø	100 / 120 mm
Vnější brusný kotouč	Max. 250 mm
Pojezdová dráha osy X	400 mm
Pojezdová dráha osy Z	400 mm
Úhel nastavení osy B (ručně)	300 Nm
Hmotnost stroje	3600 kg

Tabulka 8 Nový technologický postup

Operace	Použitý stroj	Popis operace
1	Bruska pro vnější broušení	Zarovnat vnější průměr. Čela brousit, úhlovat dle průměru s příd. 0,3-0,4. Brousit úhel 1,5°. Pozor ze správné strany. Dodržet Ra 0,4. Lícovat dle objímky, přesah dle k výkresu.
2	Nahřívací pec	Zapustit SK dle popouštěcí teploty.
3	Bruska pro vnější broušení	Ve hrotech brousit vnější *79,9-0,05 hotově.
4	Rovinná bruska	Čela úhlovat dle průměru hotově na horní mez.
5	CNC broušení	Brousit vnitřní tvar hotově Ra 0,2 – NOVÝ STROJ
6	Leštění	Leštit vnitřní tvar Ra 0,05
7	Bruska pro vnější broušení	Brousit kužel 20° v délce 14+/-0,05.
8	Značení, balení a kontrola	Značit: dle výkresu. Balit. Výstupní kontrola.

4 Diskuse experimentů

Experiment dílu matrice jsem dělala v průběhu chodu ranní směny ve firmě HM tools industrial s.r.o. Účelem pokusu bylo snížení strojních časů potřebných k výrobě dílu a nahrazení kooperace, tedy zproduktivnit jeho výrobu. K dodržení požadavku zproduktivnit výrobu jsem navrhla nový stroj.

Při volbě nového stroje jsem musela zohlednit i možnost využití stoje pro další současně vyráběné díly. Mým prvním úkolem před výběrem stroje bylo prohlédnout si výrobu a všechny výrobky. Vše pro mě bylo velice důležité a poučné. Na základě získaných informací jsem mohla začít s návrhem stroje.

Pro návrh byl vybrán nejvhodnější stroj bruska na vnitřní otvory CT960 od firmy STUDER. Pořizovací náklady na stroj byly vysoké, i přesto vedením firmy přemýšlelo o jeho zakoupení. Majitele zajímalo celkové porovnání, proto nám výrobce stoje STUDER zaslal potřebné dokumenty, abych mohla provést potřebné porovnání.

Stanovení výrobních časů

Měření výrobních časů původní technologie bylo provedeno za pomoci stopek při provozu ranní směny. Výrobní časy nové technologie jsou stanoveny z podkladů zaslaných výrobcem CNC brusky a některé jsou převzaty z původní technologie. Určení časů je důležité pro zjištění pružné doby výroby, zjištění rezerv a úrovně organizace. Při určování samotných strojních časů jsem musela měřit i čas potřebný k přípravě výroby. Příprava zahrnovala seřízení stroje, studium výkresové dokumentace, kontrola stavu zásob materiálu.

Tabulka 9 Přehled délky trvání operací staré technologie

Operace	Použitý stroj	Příprava [min]	Strojní čas [min]
1	Bruska pro vnější broušení	10	28
2	Nahřívací pec	0	10
3	Bruska pro vnější broušení	10	13
4	Rovinná bruska	10	14
5	Bruska na vnitřní broušení	15	30
6	Bruska na vnitřní broušení	10	25
7	Kooperace	0	0
8	Leštění	10	25
9	Bruska pro vnější broušení	0	12
10	Značení, balení a kontrola	5	25

Tabulka 10 Přehled délky trvání operací nové technologie

Operace	Použitý stroj	Příprava [min]	Strojní čas [min]
1	Bruska pro vnější broušení	10	28
2	Nahřívací pec	0	10
3	Bruska pro vnější broušení	10	13
4	Rovinná bruska	10	14
5	CNC broušení	30	100
6	Leštění	10	25
7	Bruska pro vnější broušení	0	12
8	Značení, balení a kontrola	5	25

5 Technicko-ekonomické zhodnocení

Zhodnocení je založeno na srovnání čistých výrobních časů, prováděného prostřednictvím různých výrobních strojů a na porovnání výrobních nákladů.

5.1 Celkové porovnání strojních časů.

Původní technologie

Tabulka 11 Přehled výsledných strojních časů získaných při měření původní technologie

Celkový strojní čas [min]	252
Strojní čas potřebný k výrobě jednoho dílu [min]	182

Nová technologie

Tabulka 12 Přehled výsledných strojních časů získaných při měření nové technologie

Celkový strojní čas [min]	302
Strojní čas potřebný k výrobě jednoho dílu [min]	227

Z tabulek je zřejmé, že původní technologie má strojní čas potřebný k výrobě 182 min a nově navržená technologie 227 min. K nižším strojním časům u původní technologie došlo proto, že je prováděna v kooperaci v externí firmě. Při použití mého návrhu dojde k nahrazení kooperace a ke snížení počtu operací za operaci, kterou provede mnou navrhovaný stroj.

5.2 Výsledky efektivnosti výroby

Po stanovení strojních časů můžu stanovit výrobní náklady. Pro stanovení jsem potřebovala vědět, kolik korun si firma účtuje za přípravu a za strojní časy. Do stanovení cen firma počítá všechny náklady na materiál a výrobu.

Původní technologie

Tabulka 13 Stanovení výrobních nákladů původní technologie

Operace	Použitý stroj	Celková cena [Kč]
1	Bruska pro vnější broušení	212
2	Nahřívací pec	65
3	Bruska pro vnější broušení	114,5
4	Rovinná bruska	121
5	Bruska na vnitřní broušení	240
6	Bruska na vnitřní broušení	192,5
7	Kooperace	1802
8	Leštění	177,5
9	Bruska pro vnější broušení	108
10	Značení, balení a kontrola	9,75

Nová technologie

Tabulka 14 Stanovení výrobních nákladů nové technologie

Operace	Použitý stroj	Celková cena [Kč]
1	Bruska pro vnější broušení	212
2	Nahřívací pec	65
3	Bruska pro vnější broušení	114,5
4	Rovinná bruska	121
5	CNC broušení	1280
6	Leštění	192,5
7	Bruska pro vnější broušení	6,89
8	Značení, balení a kontrola	9,75

Po sečtení cen všech operací stanovených pro původní technologii získáme celkovou cenu 3042,5 Kč pro nově navrhovanou technologii 2001,6 Kč. I přesto, že u porovnání strojních časů vyšla původní technologie lépe, tak u porovnání výrobních nákladů je nově navržená technologie levnější než ta původní. Cenový rozdíl mezi technologiemi je 1040,9 Kč.

Hlavním cílem byla racionalizace broušení dílu matrice s cílem snížit čas a náklady na výrobu. K návrhu nové technologie bylo důležité seznámit se s výrobou firmy a udělat analýzu původní technologie. Racionalizace je založena na tom, aby operace prováděné v kooperaci u externí firmy byla proveditelné vlastními prostředky. Pak také ve využití CNC stroje místo konvenčního stroje. Výsledkem racionalizace je návrh nové technologie pro výrobu matrice. Navrhovaná technologie výroby vyhovuje všem technologickým a ekonomickým požadavkům a je vhodná k realizaci ve firmě HM tools industrial s.r.o.

Závěr

Česká ekonomika se sice v průběhu let nestává evropským tygrem, ale zaznamenává poměrně slušný růst. Jedním z velkých vlivů na tento růst mají zahraniční investice. Proč k nám zahraniční firmy vstupují? Můžeme jim nabídnout levnou, schopnou pracovní sílu a také daňové prázdny. Jak dlouho ještě budeme ve výhodě před východnějšími zeměmi? Vysoké daně a rychle stoupající mzdy naše postavení stále zhoršují. A to už se netýká pouze zahraničních investic, ale i našich podnikatelů. Spoléhat můžeme jen nato, že máme schopnou pracovní sílu. Naše nejlepší schopnosti musíme využít ke snížení nákladů na výroby. I přes rostoucí průměrné mzdy mohou jít celkové náklady na výrobu dolů, ale měli bychom naplno využívat náš intelekt, měli bychom racionalizovat a optimalizovat výrobní procesy lépe než naši konkurenti.

Poděkování

Chtěla bych tímto poděkovat vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Vladimír Vrbovi, Csc. za jeho cenné rady. Také chci poděkovat firmě HM Tools Industrial s.r.o., která mi vždy ochotně vyšla vstříc při poskytování informací při vypracování diplomové práce.

Použitá literatura

- [1] MASLOV, J. Teorie broušení kovů 1. vyd. Praha: SNTL, 1979, 246 s.
- [2] KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [3] MAREK, J. Konstrukce CNC obráběcích strojů. 1. vyd. Kuřim, 2006. 281s. ISSN 1212-2572
- [4] BORSKÝ, V. Obráběcí stroje, skriptum ES VUT. 1.vyd. Šlapanice: Olprint, 1992. 216s. ISBN 80-214-0470-1
- [5] HM-Tools - Hlavní strana. *HM-Tools - Hlavní strana* [online]. Copyright © 2017 HM [cit. 11.05.2017]. Dostupné z: <http://www.hm-tools.eu/index.php>
- [6] Nástrojová ocel 1.2343ESU | JKZ Bučovice a.s.. *Přehled nabízených produktů | JKZ Bučovice a.s.* [online]. Copyright © [cit. 11.05.2017]. Dostupné z: <http://jkz.jb-webshare.com/node/33>
- [7] Interní dokumentace společnosti HM tools industrial s.r.o.

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1 Ukázka broušení [1].....	10
Obrázek 2 Ukázka sortimentu [5]	11
Obrázek 3 Schéma broušení vnějších válcových ploch [1].....	12
Obrázek 4 Základní způsoby broušení volným brusivem [1]	13
Obrázek 5 Zrna brousícího kotouče [1].....	16
Obrázek 6 Typické druhy třísek vznikajících při broušení [1].....	17
Obrázek 7 Statické vyvažování brousícího kotouče [2].....	20
Obrázek 8 Druhy jisker při broušení různých ocelí [1].....	22
Obrázek 9 Způsoby přivádění procesní kapaliny do zóny broušení [I]	24
Obrázek 10 Druhy pohonů [4]	27
Obrázek 11 Vybrušovací vřeteno[3]	27
Obrázek 12 Vysokootáčkové elektrovřeteno [3].....	28
Obrázek 13 Polohování dle C-osy [4].....	29
Obrázek 14 Univerzální vertikální bruska s otočným stolem [4].	30
Obrázek 15 Univerzální portálová bruska [4]	31
Obrázek 16 Ukázka matrice [7]	32
Obrázek 17 Rozměry polotovaru [7].....	34
Obrázek 18 Rozměry objímky[7].....	36
Obrázek 19 Rovinná bruska[7]	38
Obrázek 20 Bruska pro vnější otvory[7]	40
Obrázek 21 Otvorová bruska pro rovné díry[7]	41
Obrázek 22 CNC bruska [7].....	42
Obrázek 23 CT960 s rychlonakladačem [7].....	43

Tabulka 1 Chemické složení oceli	35
Tabulka 2 Tepelné zpracování	35
Tabulka 3 Původní technologický postup	37
Tabulka 4 Parametry stroje BPH 20.....	38
Tabulka 5 Parametry stroje - Bruska pro vnější otvory	39
Tabulka 6 Parametry Otvorové brusky pro rovné díry	41
Tabulka 7 Parametry nového stroje.....	43
Tabulka 8 Nový technologický postup.....	44
Tabulka 9 Přehled délky trvání operací staré technologie	46
Tabulka 10 Přehled délky trvání operací nové technologie	46
Tabulka 11 Přehled výsledných strojních časů - původní technologie	47
Tabulka 12 Přehled výsledných strojních časů - nové technologie	47
Tabulka 13 Stanovení výrobních nákladů původní technologie	48
Tabulka 14 Stanovení výrobních nákladů nové technologie	49

Seznam příloh

[A] Technický výkres matrice

[B] Technický výkres polotovaru

[C] Technický výkres objímky

[D] Technologický postup – původní technologie

[E] Technologický postup – nové technologie